

УДК 621.5

Иванов А.Н.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФУТЕРОВКИ БРОПЭКС ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ  
ЭНЕРГОАДАПТИРОВАННОГО РЕЖИМА ТРУБНЫХ МЕЛЬНИЦ***Харьковский государственный технический университет строительства и архитектуры*

Анализ режимов работы мелющих тел (МТ) в шаровых барабанных мельницах (ШБМ) показал, что сила воздействия на частицы материала падающих МТ в большинстве своем в несколько раз превышает силу, необходимую для разрушения, при этом только часть энергии удара совершает полезную работу. В связи с этим, режим работы МТ, при котором материал переизмельчается ударом, раздавливаем или истиранием является с энергетической точки зрения не оптимальным, что составляет резерв повышения эффективности работы ШБМ и снижения расхода электроэнергии. Создание оптимального режима требует решения 2-х задач: установление зависимости изменения такого режима по длине ШБМ и разработку мероприятий, реализующих такой режим.

Первая задача была решена автором путем создания нового энергоадаптированного режима на основе селективности режима работы МТ в зависимости от размеров частиц, изменяющихся по длине мельницы [1,2].

Суть энергоадаптированного режима состоит в том, что водопадный режим работы изменяют вдоль мельницы соответственно диаграмме помола, построенной по полным остаткам на сите, размер ячеек которого равен размеру частиц измельчаемого материала, требующих измельчения истиранием, что соответствует 50 % проходу материала через сито с ячейками 80 мкм (например, для клинкера это 0,5 мм), т.е. угол отрыва мелющих тел от футеровки (при отсчете от верхней точки вертикали-диаметра корпуса мельницы) изменяют вдоль шаровой камеры ШБМ в диапазоне от 35° до 65° соответственно вышеуказанной диаграмме помола, что равнозначно аналогичному изменению коэффициента сцепления мелющих тел с футеровкой от 0,6 до 0,3.

Вторая задача может быть решена в двух вариантах. Первый вариант – реализация энергоадаптированного режима за счёт непрерывного изменения угла подъёма шаров вдоль мельницы путём использования конического корпуса шаровой камеры. Несмотря на достоинство (непрерывность изменения угла подъёма) недостаток этого варианта в том, что требуется изготовление конического корпуса шаровой камеры.

С целью устранения этого недостатка для реализации энергоадаптированного режима без всяких дополнительных затрат автор предлагает использовать футеровку из прокатных элементов БРОПЭКС, хотя при этом непрерывное изменение режима заменяется на ступенчатое.

В настоящее время для обеспечения оптимальных скоростных режимов работы мелющих тел широко используют комбинированные футеровки БРОПЭКС из прокатных элементов трех профилей 1Ц, 2Ц и 3Ц, имеющих разную высоту (125,90 и 60 мм соответственно). Как известно, энергетический режим работы мелющих тел наряду со скоростью вращения и степенью заполнения мельницы мелющими телами существенно зависит от величины сцепления загрузки с поверхностью бронефутеровки, то есть от ее параметров. В связи с тем, что изменение скорости вращения и степени заполнения приводит к изменению энергетического режима работы мелющих тел по всей длине барабана, бронефутеровка служит практически единственным средством для организации заданного скоростного режима работы на определенном участке мельницы. Таким образом, только параметры бронефутеровки определяют зону и высоту падения мелющих тел, траекторию их движения и т.д.

Бронефутеровки должны обладать высокой износостойкостью, технологичностью монтажа, оптимальным энергетическим режимом работы мелющей загрузки, классифицирующей способностью и т.д. До настоящего времени все конструкции отвечали лишь некоторым требованиям.

В связи с этим разработка и внедрение нового типа бронефутеровки БРОПЭКС, позволяющей решать одновременно все вышеуказанные требования, представляет серьезный шаг в совершенствовании процесса измельчения.

Технологической основой проектирования является положение о соответствии энергетического режима работы мелющих тел свойствам измельчаемого материала.

Как уже указывалось, одной из особенностей бронефутеровки БРОПЭКС является возможность сочетанием ее прокатных элементов набирать большое число различных поверхностей, характеризующихся определенными параметрами создаваемого скоростного режима. При этом появляется возможность плавного изменения в построении процесса измельчения (переход от одной стадии измельчения к другой).

Благодаря конструкции БРОПЭКС изменение величины коэффициента сцепления ( $K_{сц}$ ) возможно изменением высоты элемента  $h$ , создаваемой соотношением чередования укладки элементов (1Ц – 2Ц, 1Ц – 3Ц, 2Ц – 3Ц) и изменением шага футеровки  $l$  [5,6,7].

Высота элемента  $h$  является величиной, оказывающей влияние на режим работы мелющих тел со стороны геометрического состояния высоты полки, захватывающей мелющее тело, и размера самого тела. С увеличением  $h$  захват мелющего тела резко возрастает, что обеспечивает подъем его на большую высоту. Однако возможности увеличения высоты элемента не беспредельны, так как чрезмерная высота  $h$  приведет к «забросу» мелющих тел за «пятую» загрузки. Это отрицательно влияет как на величину износа футеровки, нерациональное использование электроэнергии, так и на процесс измельчения в целом. С этой точки зрения необходимо определить максимальную допустимую величину  $h$  для получения интенсивного дробящего режима работы мелющих тел.

Шаг футеровки  $l$ , в отличие от высоты элемента, определяет подъем мелющих тел с точки зрения величины скольжения их по поверхности футеровки. Очевидно, что как очень малая величина  $l$ , так и чрезмерно большая, не дадут положительных результатов.

Скоростной режим работы определяется коэффициентом сцепления шаров с футеровкой. Воробьевым Н.Д. рассчитаны и смоделированы (табл.1) [3,4], а НИИЦементом подобраны различные схемы футеровок, обеспечивающие значения коэффициента сцепления  $K_{сц}$  в рабочем диапазоне от 0,313 до 0,610 (табл.2) [5,6,7].

Таблица 1 – Значения коэффициента сцепления  $K_{сц}$  для некоторых типов футеровки БРОПЭКС при  $R_b=1,3м$ ,  $\varphi = 0,30$ ;  $\psi = 0,7$

Формула профиля	13	133	123	132	12	1333
Коэф. сцепления	0,282	0,399	0,406	0,418	0,460	0,477
Формула профиля	1232	13333	122	113322	1222	112233
Коэф. сцепления	0,480	0,538	0,539	0,575	0,586	0,595
Формула профиля	11223322		12222		111,222,333	
Коэф. сцепления	0,622		0,627		0,711	

Критерием оценки эффективности скоростного режима принимают угол отрыва  $\gamma$  шаров от футеровки и величину потребляемой мощности.

Проведенные в НИИЦементе исследования позволили установить связь между углом отрыва  $\gamma$  шаров и потребляемой мощностью (табл.3), а также коэффициентом сцепления  $K_{сц}$  для футеровки из набора прокатных элементов 1Ц, 2Ц, 3Ц (рис.1). Эта

зависимость имеет сложный экстремальный характер. При изменении  $K_{\text{сц}}$  от 0,313 до 0,443 происходит уменьшение угла  $\gamma$  (т.е. увеличения угла подъема шаров), в интервале  $K_{\text{сц}} = 0,443 \dots 0,463$  величина  $\gamma$  постоянна, а далее идет увеличение  $\gamma$ .

Таблица 2 – Значения  $K_{\text{сц}}$  для различных схем раскладки элементов БРО-ПЭКС ( $\phi = 0,30$ ;  $\psi = 0,75$   $\psi_{\text{кр}}$ )

Схема раскладки элементов (1 – профиль 125 мм, 2 – профиль 90 мм, 3 – профиль 60 мм)	Коэффициент сцепления
Гладкая	0,310
1 2 3	0,313
1 2 3 3	0,386
1 2 3 3 3	0,443
1 2 3 3 3 3	0,463
1 2 3 3 3 3 3	0,500
1 2 3 3 3 3 3 3	0,511
1 2 3 3 3 3 3 3 3	0,526
1 2 2 3 3 3	0,468
1 2 2 3 3 3 3	0,504

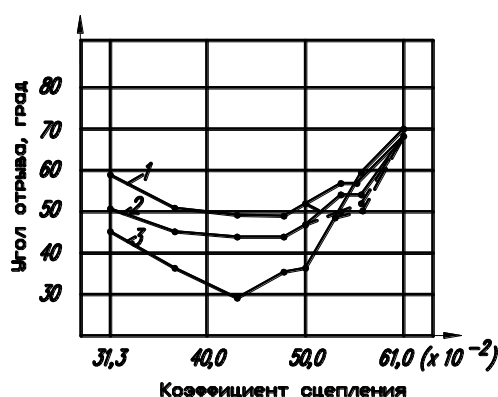


Рисунок 1 – Зависимость угла отрыва от коэффициента сцепления ( $\phi = 0,30$ ;  $\psi = 0,75$ ): 1 – шары диаметром 10 мм, 2-8 мм и 3-6 мм (диаметр мельницы  $\varnothing 300$  мм)

При  $K_{\text{сц}} = 0,50$  происходит расслоение шаровой загрузки на два потока: 15-20 % работает в водопадном режиме ( $\gamma = 50^\circ$ ), остальная часть – в каскадном ( $\gamma = 62^\circ$ ). Из рис.1 видно, что увеличения угла отрыва  $\gamma$  можно достичь или уменьшением 0,443 до 0,313, или увеличением 0,463 до 0,61. Выбор той или иной схемы для организации заданного режима делают на основе анализа энергопотребления, износостойкости, веса футеровки. Максимум потребляемой мощности (т. е. и эффективности измельчения) приходится на высоту выступа элемента  $h = (0,3-0,4)d_{\text{ш}}$  и шага футеровки  $l = (3-4)d_{\text{ш}}$  (где  $d_{\text{ш}}$  – диаметр шара).

Проведенные в НИИЦементе исследования позволили установить связь между углом отрыва  $\gamma$  шаров и потребляемой мощностью (табл. 3), Максимум потребляемой мощности (т. е. и эффективности измельчения) приходится на высоту выступа элемента  $h = (0,3-0,4)d_{\text{ш}}$  и шага футеровки  $l = (3-4)d_{\text{ш}}$  (где  $d_{\text{ш}}$  – диаметр шара).

С увеличением  $h$  угол отрыва уменьшается, однако увеличение  $h > 4d_{\text{ш}}$  ведет к забросу шаров в нерабочую зону.

Шаг футеровки  $l$ , в отличие от  $h$ , определяет подъем шаров с точки зрения величины скольжения их по футеровке. Если  $l$  будет мала, то даже большое  $h$  не дает стабильный интенсивный водопадный режим из-за малого количества шаров, захватываемых элементом. Увеличение  $l$  повышает скольжение шаров, износ футеровки и умень-

шает угол подъема шаров. Из табл.3 видим, что угол отрыва должен быть не меньше  $40^\circ$  и не больше  $70^\circ$ , что соответствует максимальному углу подъема  $140^\circ$  и минимальному –  $110^\circ$ . Увеличение шага футеровки уменьшает износ, наименьший вес имеет профиль 3 Ц, наибольший – 1 Ц.

Учитывая все вышеизложенное, изменение угла отрыва  $\gamma$  от  $65^\circ$  до  $40^\circ$  реализуем с учетом табл. 1,2,3 и рис.1 за счет изменения коэффициента сцепления  $K_{\text{сц}} = 0,6$  до  $0,3$  [3,5,6,7]. В связи с тем, что при цилиндрической форме корпуса непрерывное изменение  $K_{\text{сц}}$  (соответственно и  $\gamma$ ) реализовать довольно сложно (без использования конического корпуса, магнитных полей и др.), то заменяем его на дискретное, ступенчатое. Число ступеней определяется длиной шаровой камеры  $L$  мельницы и длиной прокатных элементов  $l_p$ . На большинстве цементных заводов  $L=6$  м, а  $l_p=1,5$  м, откуда получаем 4 ступени. За расчетные величины угла отрыва  $\gamma$  берем средние точки ступеней, которые находим из графика для угла подъема  $\alpha (\alpha = 180^\circ - \gamma)$  построенного в зависимости от длины шаровой камеры, т.е. по номеру пояса футеровки или определяем аналитически по предложенным автором зависимостям [1,2].

Таблица 3 – Условия и результаты экспериментов по определению влияния  $h$  и  $l$  на режим работы мелющих тел в поперечном сечении барабана <sup>х)</sup> ( $\varphi=0,3$ ,  $\psi = 0,75 \psi_{\text{кр}}$ )

Высота элемента $h$ , доли $d_{\text{ш}}$	Шаг футеровки $l$ , доли $d_{\text{ш}}$	Угол отрыва $\gamma$ , град	Потребляемая мощность $N$ , Вт
0,2	3	65	126
0,3	3	50	137
0,4	3	45	144
0,5	3	38	124
0,6	3	25	115
0,7	3	15	110
0,3	2	58	124
0,3	3	52	130
0,3	4	49	136
0,3	5	54	129

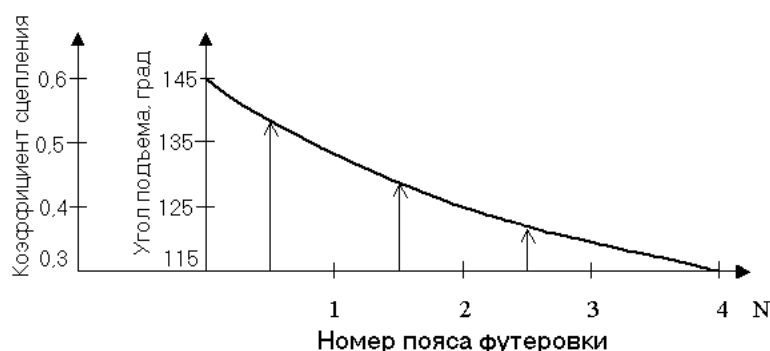


Рисунок 2 – Зависимость угла подъема по длине шаровой камеры (от номера пояса длиной каждого 1,5 м)

Из рис. 2 находим среднее значение углов подъема  $\alpha^\circ$  по поясам:  
1 –  $140^\circ$ , 2 –  $130^\circ$ , 3 –  $123^\circ$ , 4 –  $117^\circ$ , что при переходе к углам отрыва  $\gamma (\gamma = 180^\circ - \alpha^\circ)$  дает следующие значения: 1 –  $40^\circ$ ; 2 –  $50^\circ$ ; 3 –  $57^\circ$ ; 4 –  $63^\circ$

Используя данные табл. 3 и рис.1, находим соответствующие коэффициенты сцепления  $K_{\text{сц}}$  по поясам или показатели  $h$  и  $l$ , обеспечивающие эти углы отрыва (с округлением до  $2^\circ$ ).

1– $h=0,5d_{\text{ш}}$ ;  $l=3d_{\text{ш}}$  (табл. 3)  $K_{\text{сц}}=0,52$  (рис.1)

2– $h=0,3d_{\text{ш}}$ ;  $l=3d_{\text{ш}}$  (табл. 2.3) или  $K_{\text{сц}}=0,48$  (рис. 1)

3–  $K_{\text{СЦ}}=0,32$  (рис. 2.2) (рис.1)  $h=0,3d_{\text{ш}}$  ;  $l=5d_{\text{ш}}$  (табл.3)

4–  $K_{\text{СЦ}}=0,3$  (рис. 1)  $h=0,2d_{\text{ш}}$  ;  $l=3d_{\text{ш}}$  (табл.3)

Теперь задача состоит в наборе определенных схем футеровок в зависимости от найденных значений  $K_{\text{СЦ}}$  по поясам.

Соответственно выбираем такие схемы для:

1-го пояса – 13333 (табл. 1) или 123333333 (табл. 2)

2-го пояса – 1232 (табл. 1), или 123333 (табл. 2)

3-го пояса – 123 (табл. 2)

4-го пояса – 123 (табл. 2) или гладкая футеровка из элементов 3 Ц или гладкая цилиндрическая литая футеровка аналогичная футеровке 2-ой камеры.

Как видим, предложенный вариант реализации энергоадаптированного режима работы ШБМ не требует никаких дополнительных затрат и может быть внедрён на любом предприятии, эксплуатирующем ШБМ.

#### Литература

1. Иванов А.Н. Закономерности энергетического режима работы мелющей загрузки трубных мельниц // Интегровані технології та енергозбереження. – Харків: ХДПУ. – 2000. – №1. – С. 8-12.

2. Иванов А.Н., Балера Н.Д., Александрова Е.Б. Энергетический режим работы трубных мельниц // Труды Международной научно-практической конференции, безопасность, энерго- и ресурсосбережение в промышленности строительных материалов и строительстве на пороге 21 века. – Часть 4. –БГТАСМ. – Белгород, –2000. – С. 76-80.

3. Воробьёв Н.Д., Богданов В.С., Пироцкий В.З. К вопросу об определении коэффициента сцепления шаровой загрузки с футеровкой барабанных мельниц. Сб. научных трудов «Моделирование, автоматизация и механизация процессов производства строительных материалов». – М: 1984. – С. 99-105.

4. Воробьев Н.Д., Чемеричко Г.И., Щенников А.Н. Моделирование процесса измельчения в мельницах с комбинированной футеровкой // Сборник научных трудов БТИСМ. Совершенствование техники и технологии измельчения материалов. – Белгород, 1989. – С. 113-125.

5. Пироцкий В.З., Щенников А.Н. Влияние параметров бронефутеровки типа БРОПЭКС на энергетический режим работы мельницы. – М: Труды НИИЦемент(а) вып.90, 1986, – С. 115-125

6. Щенников А. Н., Лебедев А. О., Ковалев А. Г. Об изучении движения загрузки и материала. Сборник научных трудов БТИСМ. Совершенствование техники и технологии измельчения материалов.– Белгород .1989. – С. 78-84.

7. Щенников, А. Н. Пироцкий В. З., Несмеянов Н. П. Влияние параметров бронефутеровки с переменным коэффициентом сцепления из прокатных элементов БРОПЭКС на кинетику и эффективность процесса измельчения, Сборник научных трудов БТИСМ. Совершенствование техники и технологии измельчения материалов. – Белгород, 1989. – С. 125-144.

УДК 621.5

Іванов А.М.

#### **ВИКОРИСТАННЯ ФУТЕРОВКИ БРОПЭКС ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ЕНЕРГОАДАПТОВАНОГО РЕЖИМУ ТРУБНИХ МЛИНІВ**

Пропонується варіант реалізації енергоадаптованого режиму роботи трубних млинів шляхомі зміни кутів відриву куль від футерівки за рахунок нової схеми футеровки кульової камери млина. Наведені відповідні залежності для конструювання такого корпусу.